

LEDの生産に必須となる光学検査

ダン・シャーフ

LEDは生産時の特性を十分に評価し、デバイスの一連の動作パラメータがエンドユーザの要求を満たすことを保証しなければならない。

蛍光灯や白熱灯への置き換えとなる発光ダイオード(LED)の、爆発的な需要の増加に伴って、ディスプレイや照明器具の設計者からの要求も厳しさが増している。生産工程における光学検査は、歩留の向上と正確なビンングを実現し、全体の生産コストを下げるためには必要不可欠である。光学検査は、現在、ウエハのプロープ検査に始まり、切り出したチップとテープ加工したチップ、そして最終的にはパッケージLEDの試験に至るまで、多くの工程で行われ

ている。パッケージLEDはディスプレイや照明器具に取付けられるが、これらのデバイスも光学検査が必要になる。さらに、エンドユーザも部品を検査して、光源が使用環境において良好に動作することを確認しようとする。LEDの感度は温度に依存し、使用状態にも影響され、その性能はバリューチェーンの各段階において変化するため、性能を確認するための検査が必要になる。

LED技術が成長を維持し、産業界から広く受け入れられるには、LEDの性能

と経済性は置き換え対象の部品よりも高くなければならない。LEDデバイスの光学性能を定量化するには、強度(I)、光束(Φ)、発光色、指向性、電力消費などを測定しなければならない。それぞれのパラメータからは所定の用途に対して必要になるデバイス性能が得られ、その検査手順は関係する産業の個々の標準化団体から入手することができる。

生産量を維持するには生産工程の検査速度が重要な要件になる。積分球と分光計の組合せは、一般にLEDの全光束およびスペクトル成分、つまり色特性の測定に使われる。検査するLEDの電力供給法も特別な考慮が必要になるが、それはLEDに加える電流をパルス波形にしてチップの温度上昇を防ぎ、測定や良品判定に十分な発光を確保する必要があるためだ。この高速プロセスには駆動電流と分光計の精密な同期が必要になる。

LEDのビンング

初期工程のウエハの検査では、LEDの所望の出力と基本の指向性を保証するための発光光束と強度が必要になる。これ以降の工程ではウエハから切り出されたチップの色特性が再度測定される。

チップ段階の検査では、光束と色の判定基準に基づいて、ビンングと呼ばれる選別が行われる。この検査工程はLEDメーカーの多くで共通化され、最近ではNEMA SSL3-2010のようなビン

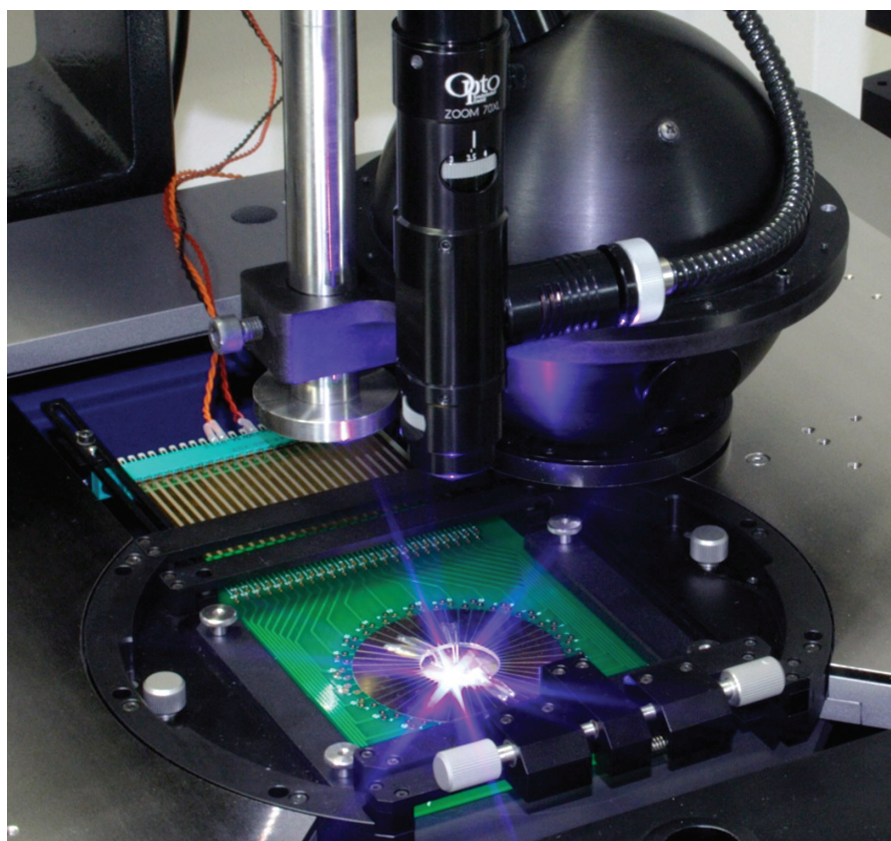


図1 ビンングとして知られる選別時のデバイスの性能は積分球に基づく試験装置を使用して検査される。

グ判定基準が開発され、エンドユーザの標準化の助けになっている。利用可能なビニングパラメータには放射光束、主要波長、相関色温度、色度および演色指数(CRI)がある。

LEDのパッケージングには、デバイスチップとシリコンまたはヒートシンクとのボンディングが必要であり、チップの保護と集光系を兼ねるレンズの取付けも含まれる。白色光を生成するレンズは、短波長のLED用の蛍光体が被覆される。他の白色LED方式では、3色のチップを用いるRGB(赤・緑・青)法を使用し、各チップの色の出力レベルを平衡状態にして白色光を生成する。いずれの場合も生産工程内にバラツキがあり、発光の色温度とカラーシフトが異なる状態になるため、定量的な測定が必要になる。前述したように、パッケージLEDのビニングには積分球が使用され、用途に合せた選別が行われる(図1)。

一般に、LEDは標準の白熱ランプのような突発故障が起こらない。したがって、寿命予測の判定は容易でなく、LEDの期待寿命と劣化を予測する標準的な方法はない。その代わりに、IESNA-LM-80標準を用いると、パッケージLEDの光束維持率の判定が可能になり、デバイスの光出力が初期の70%になるときの期待時間を求めることができる。このような試験はLEDの少なくとも6000時間の高温連続動作が必要になり、温度は55℃、85℃およびメーカーが選択する第3の温度で行われる。この場合の光学検査は1000時間ごとに行われる。

照明器具の検査

照明器具メーカーはパッケージ(ビニングされた)LEDを選択して所定の用途の要求を満たさなければならない。LEDの接合部温度は発光の出力パワーとカ



図2 デバイスの温度に対する動作パラメータのマッピングは、パッケージLEDに温度制御器を搭載した積分球を用いて行われる。

ラーシフトに大きな影響を与えるため、LM-80による検査では温度を関数にした測定が必要になる。LEDチップとパッケージの性能データは25℃のデータ(LM-80データが添付される場合は55℃と85℃も含まれる)を提供しているため、照明器具の設計者は用途に合わせて駆動装置と熱管理システムを設計し、効率(光束/入力パワー)を最適化し、適切な光学パラメータを最大にしなければならない。そのためには駆動電流の変更と上述した接合部温度値の制御を同時に行うことも必要になる。

積分球とパッケージLED上の熱制御器を使用すると、設計者は駆動電流または電圧と接合部温度に関係する動作エンベロップを決定できる。この配置を用いると、接合部温度は一連の駆動電流に対して固定され、その逆も可能になる。この温度設定を変更すると、駆動電流と温度のすべての範囲の光学パラメータマップを作成できる(図2)。

接合部温度が高くなると光出力が減少し、主波長が高い値にシフトし、相関色温度が低くなる。設計者は接合部温

度がLEDの性能に及ぼす影響を理解することで、照明器具の完全動作の許容範囲を決定できる。

LEDの最適動作条件が決まると、照明器具の固定具の性能、形態、審美性などの設計が可能になる。この段階になると、完全な照明器具の出力と有効性を検証するための光学検査がもう一度必要になる。IESNA-LM-79などの標準を用いると、積分球とゴニオメータを用いる試験法の知見が得られるため、同様のデバイス間で同等の比較が可能になる。

照明器具のハウジングはLEDの熱管理に影響を与えるため、LM-79は固体デバイスに対して使用される配置での検査を要請している。このようなLEDバリューチェーンの最後にあたるハウジングは、LEDよりもわずかに大きい場合と、街灯のように非常に大きい場合がある。この段階の検査はハウジングに合せた大きさの積分球が必要になる(図3)。全方向性の照明器具を検査する場合は、照明器具を積分球の中心に配置する(4 π 配置)。指向性をもつ

照明器具の場合は積分球の側面から光を入射する(2 π 配置)。いずれの場合もデバイスの表面積に対する積分球の表面積の比は最大にしなければならない。4 π 配置の場合のおおまかな照明器具の直径は積分球の直径の1/10でなければならない。2 π 配置の場合は積分球の入口を半径の1/3以下にする必要がある。街灯やその他の大きな照明器具の場合の積分球は3m以上の直径が必要になる。

指向性照明の場合は、半球状の積分球を用いると、検査時の照明器具の熱管理部品を積分球の外に置くことができる(図4)。半球では分光計への信号が2倍になるため、照明器具のサイズが同じであれば、半球は全球よりもかなり小さくなる。照明器具はLM-79に記載された標準配置の位置決めが必要であり、半球システムを使うと、試験対象デバイス(DUT)の位置決めに必要なとなる回転が容易になる。

これらの積分球による測定は、積分球の理論による理想的な配置に比べると、DUTの位置が変化してしまう。その結果、積分球には新しい表面が追加され、そこでは光の反射や吸収が起こり、外部の較正用ランプを用いる補正が必要になる。較正用ランプで照明した外部ランプによる分光計の走査および配置したDUTの走査を行い、両者の走査によるデータの比を求めると、DUTからの出力を測定したときの補正、つまりDUTによるすべての反射と吸収の補償を行うことができる。

ここで述べたように、ウエハからユーザーまでのバリューチェーンの各段階では、いずれも光学検査が必要になる。それぞれの段階における積分球とLEDの制御に対する要求は異なるため、これらを適切に設計し、用途に必要な測定精度を確保しなければならない。

図3 エンドユーザが行う照明器具ハウジング内のLEDの検査には図のような直径3mの大きな積分球が必要になる。



図4 半球状の積分球を用いると、検査する光源と熱管理部品を積分球の外に配置できる。



著者紹介

ダン・シャーフ (Dan Scharpf) は米ラプスフェア社 (Labsphere) システム事業部の販売マネージャ。
e-mail: dscharpf@labsphere.com